

Random signal sensor for signal processing by correlation.

Publication number: EP0108876
Publication date: 1984-05-23
Inventor: MASSEN ROBERT DR
Applicant: ENDRESS HAUSER GMBH CO (DE)
Classification:
 - international: G01P5/18; G01P5/18; (IPC1-7): G01P5/18
 - european: G01P5/18
Application number: EP19830108611 19830901
Priority number(s): DE19823235750 19820927

Also published as:

- US4604904 (A1)
- JP59131118 (A)
- DE3235750 (A1)
- EP0108876 (B1)

Cited documents:

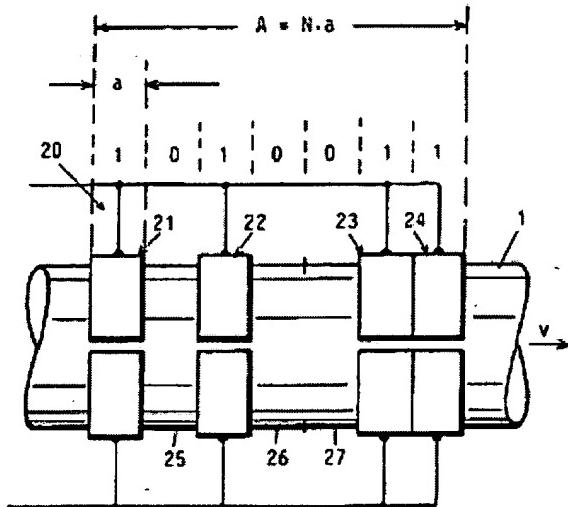
- DE2544825
- DE2532033
- DE2553321
- FR2365801
- DE2532060

[Report a data error here](#)

Abstract not available for EP0108876

Abstract of corresponding document: **US4604904**

The sensor (20) is intended for the detection of random signals, suitable for correlative signal processing, originating from a process in motion relative to the sensor, for example a flow passing through a pipeline (1). Signals of this nature are used, in particular, for the measurement of velocity or running time. The sensor (20) is subdivided into several sensor segments (21, 22, 23, 24) in order to increase sensitivity for a given spatial frequency filter effect. In the case of a capacitive sensor, each sensor segment consists of two electrodes encompassing the pipeline (1). The sensor segments (21, 22, 23, 24) are arranged along the direction of motion according to a coding selected on the basis of the desired spatial frequency filter effect, with the introduction of gaps (25, 25, 27) which are insensitive to the characterizing parameter of the process in motion. The spatial frequency filter effect and, in particular, its limit frequency, will then correspond to that of an individual sensor segment, while the total aperture, which determines the sensitivity, is equal to the sum of the aperture segments of the sensor segments present.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

⑯

⑪ Veröffentlichungsnummer:

0 108 876

A1

⑫

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

㉑ Anmeldenummer: 83108611.1

㉓ Int. Cl.³: G 01 P 5/18

㉒ Anmeldestag: 01.09.83

㉔ Priorität: 27.09.82 DE 3235750

㉕ Anmelder: Endress u. Hauser GmbH u.Co.,
Hauptstrasse 1, D-7867 Maulburg (DE)

㉖ Veröffentlichungstag der Anmeldung: 23.05.84
Patentblatt 84/21

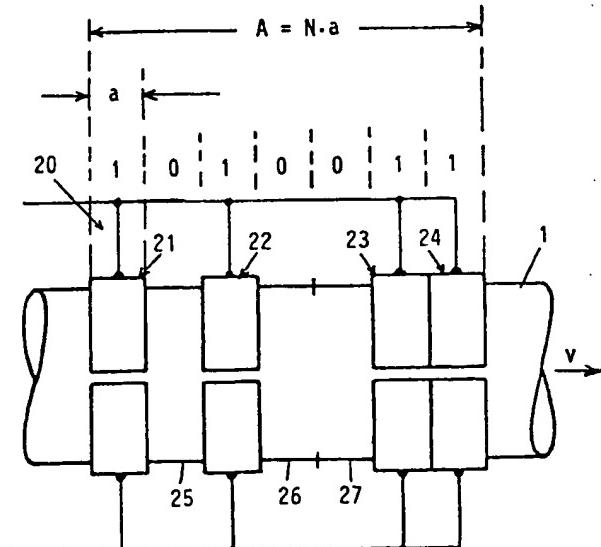
㉗ Erfinder: Massen, Robert, Dr., Kämpfenstrasse 39,
D-7760 Radolfzell 18 (DE)

㉘ Benannte Vertragsstaaten: CH FR GB IT LI NL SE

㉙ Vertreter: Leiser, Gottfried, Dipl.-Ing. et al,
Patentanwälte Prinz, Bunke & Partner Ernsberger
Strasse 19, D-8000 München 60 (DE)

㉚ Sensor zur Detektion zufälliger, zur korrelativen Signalverarbeitung geeigneter Signale.

㉛ Der Sensor (20) ist zur Detektion zufälliger, zur korrelativen Signalverarbeitung geeigneter Signale aus einem relativ zum Sensor bewegten Prozeß, beispielsweise einer durch eine Rohrleitung (1) gehenden Strömung bestimmt. Signale dieser Art werden insbesondere für die korrelative Geschwindigkeits- oder Laufzeitmessung verwendet. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit bei vorgegebener Ortsfrequenzfilterwirkung ist der Sensor (20) in mehrere Sensorsegmente (21, 22, 23, 24) unterteilt. Im Fall eines kapazitiven Sensors besteht jedes Sensorsegment aus zwei die Rohrleitung (1) umgreifenden Elektroden. Die Sensorsegmente (21, 22, 23, 24) sind unter Einfügung von für die Kenngröße des bewegten Prozesses unempfindlichen Lücken (25, 26, 27) nach einer in Abhängigkeit von der gewünschten Ortsfrequenzfilterwirkung gewählten Codierung in der Bewegungsrichtung angeordnet. Die Ortsfrequenzfilterwirkung und insbesondere deren Grenzfrequenz entspricht dann derjenigen eines einzelnen Sensorsegments, während die für die Empfindlichkeit maßgebliche Gesamtapertur gleich der Summe der Apertursegmente der vorhandenen Sensorsegmente ist.



EP 0 108 876 A1

Endress u. Hauser GmbH u. Co.
Hauptstraße 1
7867 Maulburg

Unser Zeichen: E 1105 a

Sensor zur Detektion zufälliger, zur korrelativen
Signalverarbeitung geeigneter Signale

Die Erfindung betrifft einen Sensor zur Detektion zufälliger, zur korrelativen Signalverarbeitung geeigneter Signale aus einem relativ zum Sensor bewegten Prozeß, insbesondere für die korrelative Geschwindigkeits- oder Laufzeitmessung,

- 5 mit einer für eine Kenngröße des bewegten Prozesses empfindlichen Gesamt-Apertur.

Bekanntlich besteht das Prinzip der korrelativen Geschwindigkeits- oder Laufzeitmessung darin, mit Hilfe von meist
10 berührungslosen Sensoren an zwei in der Bewegungsrichtung im Abstand voneinander liegenden Stellen des bewegten Prozesses zufällige Signale zu entnehmen, die Kreuzkorrelationsfunktion beider Signale zu bilden und aus der Lage des Maximums eine Information über die Laufzeit und die
15 Geschwindigkeit des bewegten Prozesses zu gewinnen. Die Sensoren sind so gewählt, daß sie auf eine möglichst signifikante oder leicht zu erfassende Kenngröße des bewegten

- Prozesses ansprechen. Beispielsweise können kapazitive Sensoren, Ultraschallsensoren, optische Sensoren, thermische Sensoren, ladungsempfindliche Sensoren oder Leitfähigkeitssensoren angewendet werden. Alle diese Sensoren er-
- 5 fassen einen bestimmten Raumausschnitt, der in der Bewegungsrichtung des bewegten Prozesses eine endliche Ausdehnung hat, die in Anlehnung an optische Systeme als "Blende" oder "Apertur" bezeichnet wird. Bekanntlich stellt jede Apertur ein räumliches Filter ("Ortsfrequenzfilter") dar.
- 10 Das eine von der Geometrie und der Geschwindigkeit des bewegten Prozesses abhängige obere Grenzfrequenz hat. Dadurch ist die Bandbreite der erfaßten Signale begrenzt. Nun ist jedoch die Breite des Korrelationsmaximums, die wiederum für die statistische Unsicherheit der Korrelationsauswer-
- 15 tung maßgeblich ist, umgekehrt proportional zur Bandbreite. Für eine genaue Korrelationsauswertung ist es daher erforderlich, daß die beiden zu korrelierenden Signale eine möglichst große Bandbreite besitzen. Dies bedeutet, daß die Apertur der Sensoren, also die Ausdehnung in der Bewegungs-
- 20 richtung, möglichst klein sein soll.

Andererseits setzt eine gute Korrelation voraus, daß die Sensoren eine ausreichende Empfindlichkeit haben. Die Empfindlichkeit eines Sensors kann insbesondere durch die

25 Vergrößerung des betrachteten Raumausschnittes, also durch eine größere Apertur, gesteigert werden. Beispielsweise wird ein kapazitiver Sensor dadurch empfindlicher, daß größere Elektroden verwendet werden. Insbesondere bei der Messung von Strömungsgeschwindigkeiten in Rohrleitungen mit

30 großem Querschnitt müssen z.Zt. relativ große Elektrodenflächen benutzt werden, damit die Kapazität und die Empfindlichkeit des Sensors ausreichen. Ein Beispiel hierfür ist die korrelative Geschwindigkeitsmessung an pneumatisch geförderten Feststoffen, wie Weizen, Granulaten, Kohlestaub

usw., wo oft große Rohrquerschnitte verwendet werden.

Durch die Vergrößerung der Apertur wird aber wiederum die Tiefpaßfilterwirkung der Sensoren verstärkt, so daß die Bandbreite der detektierten Signale sinkt. Demzufolge

5 ist die statistische Unsicherheit des Meßergebnisses groß.

Zur Verringerung der statistischen Unsicherheit muß die Meßzeit sehr groß gewählt werden.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Sensors, der
10 eine große Gesamt-Apertur und demzufolge eine hohe Empfindlichkeit aufweist, bei dem jedoch die Grenzfrequenz der Ortsfrequenzfilterwirkung im Verhältnis zur Apertur hoch ist.

15 Nach der Erfindung wird dies dadurch erreicht, daß die Gesamt-Apertur in Apertursegmente unterteilt ist, die unter Einfügung von für die Kenngröße des bewegten Prozesses unempfindlichen Lücken nach einer in Abhängigkeit von der gewünschten Ortsfrequenzfilterwirkung gewählten Codierung 20 in der Bewegungsrichtung angeordnet sind.

Die Erfindung beruht auf der Eigenschaft von aus dem Bereich der statistischen Nachrichtentechnik bekannten binären Codes zur Datenübertragung, welche trotz einer großen gesamten Zeitdauer beim korrelativen Empfang ein zeitkomprimiertes Signal ergeben (Korrelations-Codes, Barker-Codes, binäre pseudozufällige Codes, m-Sequenzen usw.). Es sind auch binäre Codes bekannt, deren spektrale Eigenschaften bestimmten Gesetzmäßigkeiten gehorchen, indem z.B. ihr Spektrum eine 30 große Ähnlichkeit mit dem eines Einzelimpulses hat. Als typisches Beispiel hierfür kann die Klasse der PN-Sequenzen (pseudozufälligen Codes) angegeben werden. Die Einhüllende des Spektrums einer PN-Sequenz ist gleich dem Verlauf der Spektraldichte eines Einzelimpulses, nämlich die bekannte 35 sin x/x-Funktion, auch Spaltfunktion genannt. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß das Spektrum der

PN-Sequenz aus N diskreten Spektrallinien besteht, wobei N die Periode der PN-Sequenz darstellt. Insbesondere für längere Perioden sind die Unterschiede zwischen beiden Spektren sehr klein.

5

Durch die Aufteilung der Gesamt-Apertur eines Sensors nach der Gesetzmäßigkeit eines solchen Codes wird erreicht, daß die Stoßantwort des so gebildeten Ortsfrequenzfilters gleich dem Zeitverlauf der Codesequenz und der Frequenzgang des durch die Sensorapertur gebildeten Ortsfrequenzfilters gleich dem Spektrum dieser Codesequenz sind. Insbesondere ist die Grenzfrequenz dieses Ortsfrequenzfilters unabhängig von der räumlichen Ausdehnung, in der Bewegungsrichtung gesehen, und nur von der Länge des schmalsten vorkommenden Codesegments abhängig. Obwohl also die Empfindlichkeit des Sensors entsprechend der Anzahl der vorhandenen Apertursegmente vergrößert ist, hat der Sensor eine Grenzfrequenz, die derjenigen eines einzelnen Apertursegments entspricht. Somit ist bei gleicher Grenzfrequenz die Empfindlichkeit des Sensors beträchtlich vergrößert.

Ein weiterer Vorteil der durch die Codierung gestreckten Sensoranordnung besteht darin, daß zu jedem Zeitpunkt eine große Anzahl Elementarereignisse erfaßt werden und damit der korrelativen Auswertung mehr Information pro Zeiteinheit zugeführt wird. Dies führt zu größeren Werten für den Korrelationskoeffizienten.

Die Unterteilung der Gesamt-Apertur in einzelne Apertursegmente und die räumliche Verteilung dieser Apertursegmente entlang der Bewegungsrichtung ermöglicht eine vorteilhafte Ausgestaltung des Sensors, die darin besteht, daß die Apertursegmente gegeneinander winkelversetzt um den zu erfassenden Prozeß herum angeordnet sind. Auf diese Weise ist es möglich, den Prozeß von verschiedenen Richtungen zu

beobachten, um zufällige Signale aus allen Richtungen abzuleiten.

Die durch die Unterteilung und Codierung bewirkte Verlängerung des Sensors in der Bewegungsrichtung ist im allgemeinen nicht störend. Wenn bei einer korrelativen Meßanordnung mit zwei Sensoren, die entlang der Bewegungsrichtung des Prozesses mit einem gegenseitigen Mittenabstand angeordnet sind, der kleinstmögliche Mittenabstand unerwünscht groß ist, kann dieser Mittenabstand nach einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung dadurch verringert werden, daß die einander zugewandten Endabschnitte der Sensoren derart verschachtelt sind, daß jeweils die wirksamen Apertursegmente eines Sensors in den Codelücken des anderen Sensors liegen. Natürlich muß die Codierung der Sensoraperturen entsprechend gewählt werden, doch ist dies im Regelfall möglich.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine Anordnung zur berührungslosen Messung der Strömungsgeschwindigkeit eines Mediums in einer Rohrleitung;

Fig. 2 einen Querschnitt durch die Rohrleitung von Fig. 1 entlang der Schnittlinie A-B,

Fig. 3 die mittels des Korrelationssystems von Fig. 1 gewonnene Korrelationsfunktion,

Fig. 4 einen an einer Rohrleitung angeordneten kapazitiven Sensor zur Erläuterung der Ortsfrequenzfilterwirkung,

Fig. 5 die Stoßantwort des Sensors von Fig. 4,

Fig. 6 das Frequenzspektrum der Stoßantwort von Fig. 5,

5 Fig. 7 einen nach der Erfindung ausgebildeten Sensor
mit mehreren nach einer Codierung angeordneten
Sensorsegmenten,

Fig. 8 die Stoßantwort des Sensors von Fig. 7,

10

Fig. 9 das Frequenzspektrum der Stoßantwort von Fig. 8,

Fig. 10 ein Beispiel für eine binäre PN-Sequenz mit der
Periode $N = 15$,

15

Fig. 11 das Frequenzspektrum der PN-Sequenz von Fig. 10,

Fig. 12 zwei teilweise verschachtelte codierte Sensoran-
ordnungen nach der Erfindung und

20

Fig. 13 einen nach der Erfindung ausgebildeten codierten
Sensor, dessen Sensorsegmente mit gegenseitiger
Winkelversetzung angeordnet sind.

Fig. 1 zeigt als Anwendungsbeispiel für ein Korrelationssystem eine Anordnung zur berührungslosen Messung der Strömungsgeschwindigkeit v eines pneumatisch transportierten Feststoffs, z.B. Kohlestaub, in einer

5 Rohrleitung 1. An der Rohrleitung 1 sind in einem genau bekannten Mittenabstand D zwei kapazitive Sensoren 2 und 3 angeordnet, mit deren Hilfe zufällige Signale gewonnen werden, die den zufälligen Dielektrizitätsschwankungen in der Strömung entsprechen. Der kapazitive Sensor 2 besteht aus zwei Elektroden 2a und 2b, die sich jeweils über einen Teil des Umfangs der Rohrleitung 1 erstrecken (Fig. 2) und mit den Eingangsklemmen eines Kapazitäts/Spannungs-Wandlers 4 verbunden sind, der am Ausgang ein Signal $x(t)$ abgibt, das die vom kapazitiven Sensor 2 erfaßten Dielektrizitätsschwankungen wiedergibt.

10 Der kapazitive Sensor 3 besteht aus zwei in gleicher Weise angeordneten Elektroden 3a und 3b, die mit den Eingangsklemmen eines Kapazitäts/Spannungs-Wandlers 5 verbunden sind, dessen Ausgangssignal $y(t)$ die vom kapazitiven Sensor 3 erfaßten Dielektrizitätsschwankungen wiedergibt. Die 15 Ausgänge der beiden Kapazitäts/Spannungs-Wandler 4 und 5 sind mit den beiden Eingängen eines Korrelators 6 verbunden, der die Kreuzkorrelationsfunktion zwischen den Signalen $x(t)$ und $y(t)$ berechnet.

20 25 Es ist bekannt, daß durch Bildung der Kreuzkorrelationsfunktion $R_{xy}(\tau)$ zwischen den beiden Signalen $x(t)$ und $y(t)$ die Strömungsgeschwindigkeit v in der Rohrleitung 1 ermittelt werden kann. Dies beruht darauf, daß die beim Vorbeigang der gleichen Strömungsbestandteile (Wirbel) an den 30 beiden Sensoren 2 und 3 erzeugten Signale gewisse Ähnlichkeiten aufweisen, die ein Maximum in der Kreuzkorrelationsfunktion ergeben. Die Kreuzkorrelationsfunktion hat die mathematische Form

$$35 R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau) dt. \quad (1)$$

Sie bedeutet, daß die Augenblickswerte des Signals $x(t)$ mit den um eine Verschiebungszeit τ verschobenen Augenblickswerten des Signals $y(t)$ multipliziert werden und der Mittelwert der Produkte über den Bereich der Beobachtungszeit T gebildet wird. Für jeden Wert der Verschiebungszeit τ erhält man einen Stützwert der Kreuzkorrelationsfunktion.

Fig. 3 zeigt das Ausgangssignal des Korrelators 6 als Funktion der Verschiebungszeit τ , also die Korrelationsfunktion.

- 10 Bei dem hier angegebenen Anwendungsfall hat die Kreuzkorrelationsfunktion ein Maximum bei einer bestimmten Verschiebungszeit τ_m , die gleich der Laufzeit des Mediums vom Sensor 3 zum Sensor 2 ist, so daß gilt:

15 $v = \frac{D}{\tau_m}$.

Ein an den Korrelator 6 angeschlossenes Auswertegerät 7 untersucht die Kreuzkorrelationsfunktion auf ein Maximum und gibt die entsprechende Verschiebungszeit τ_m oder die 20 daraus errechnete Strömungsgeschwindigkeit v aus.

Die gemessene Kreuzkorrelationsfunktion kann umso genauer ausgewertet werden, je größer der Wert des Korrelationsmaximums $\rho_{xy}(\tau_m)$ und je schmäler die Breite $\Delta\tau$ des Korrelationsmaximums ist. Die Breite des Korrelationsmaximums ist umgekehrt proportional zur Bandbreite der erfaßten Signale, und es gilt näherungsweise für die statistische Unsicherheit des detektierten Korrelationsmaximums

30 $\sigma(\tau_m) = k \cdot \frac{1}{B^{1,5} T^{0,5}} \sqrt{\left(1 + \frac{1}{\rho_{xy}^2(\tau_m)}\right)}$ (2)

Darin sind:

B: Bandbreite in Hz

T: Meßzeit in s

5 ρ_{xy} : normierter Korrelationskoeffizient

$\sigma(\tau_m)$: Standardabweichung der Laufzeit.

Für eine genaue Korrelationsauswertung ist es daher wichtig,
daß die beiden zu korrelierenden Signale möglichst gut
10 korreliert (d.h. möglichst ähnlich) sind und daß sie eine
möglichst große Bandbreite B besitzen. Eine gute Korrela-
tion setzt ferner voraus, daß die Sensoren möglichst gut
die vorhandenen Inhomogenitäten detektieren und möglichst
wenig durch externes Rauschen, z.B. elektronisches Rauschen
15 gestört sind. Die Empfindlichkeit für die zu detektierenden
Inhomogenitäten muß groß sein.

Diese Forderungen stehen teilweise im Widerspruch zueinander.
Dies ergibt sich insbesondere daraus, daß jeder Sensor einen
20 bestimmten Raumausschnitt erfaßt. Um dieses zu erläutern,
ist in Fig. 4 nochmals die Rohrleitung 1 mit dem Sen-
sor 2 dargestellt. Betrachtet man das Problem vereinfacht
nur für die interessierende Bewegungsrichtung, in Fig. 4
also entlang der Rohrachse, so beträgt der Ausschnitt, wel-
25 cher von den Elektroden 2a und 2b des kapazitiven Sensors 2
erfaßt wird, eine Strecke a, die gleich der Abmessung der
Elektroden in der Bewegungsrichtung ist. Diesen Ausschnitt
bezeichnet man in Anlehnung an die optischen Sensoren als
die "Blende a" oder die "Apertur a". Es ist bekannt, daß
30 jede Apertur ein räumliches Filter, nämlich ein sogenanntes
Ortsfrequenzfilter darstellt. Auch wenn der Prozeß selbst
unendlich breitbandig ist (d.h. unendlich kleine Inhomogeni-
täten aufzeigt), werden dennoch mit einem Sensor mit der
endlichen Apertur a nur Frequenzen bis zu einer oberen Grenz-
35 frequenz erfaßt, die durch die folgende Beziehung gegeben ist:

$$f_c = \frac{v/m \cdot s^{-1}}{a/m} \quad (3)$$

Fig. 5 zeigt die Stoßantwort $h(t)$ für die rechteckförmige Apertur a des Sensors 2, d.h. die Antwort des Sensors auf eine unendlich schmale Erregung, als Funktion der Zeit t . Das Diagramm von Fig. 6 stellt den Frequenzgang $H(f)$ des 5 durch die Apertur a gebildeten Ortsfrequenzfilters dar, der durch Fourier-Transformation aus der Stoßantwort $h(t)$ von Fig. 5 berechnet werden kann. Die Filterkurve von Fig. 6 hat den bekannten Verlauf der Funktion $\sin x/x$, die auch Spaltfunktion genannt wird.

10

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß jede endliche Apertur ein Filter für die zu erfassenden Frequenzen darstellt, wobei die Grenzfrequenz dieses Ortsfrequenzfilters von der Geometrie und von der Geschwindigkeit abhängig ist.

15

Um die Empfindlichkeit eines Sensors zu erhöhen, ist es im allgemeinen erforderlich, den vom Sensor erfaßten Raumauschnitt zu vergrößern. Beispielsweise können die in Fig. 1 dargestellten kapazitiven Sensoren dadurch empfindlicher 20 gemacht werden, daß größere Elektroden verwendet werden. Nach der vorstehenden Gleichung (3) wird aber durch die Vergrößerung der Elektroden in der Bewegungsrichtung auch die Tiefpaßfilterwirkung des Sensors verstärkt, so daß die Bandbreite der detektierten Signale sinkt. Eine Verringerung der 25 Bandbreite ist aber nach der Formel (2) nicht erwünscht, weil dadurch die statistische Unsicherheit des Meßergebnisses vergrößert wird.

Die vorstehend anhand von kapazitiven Sensoren geschilderten 30 Erscheinungen gelten in gleicher Weise auch für Sensoren anderer Art, die für die Detektion zufälliger Signale verwendet werden, wie Ultraschallschranken, optische Schranken, Ladungs- oder Leitfähigkeitssensoren usw. Welche dieser Sensoren jeweils verwendet werden, hängt davon ab, welche

physikalische Inhomogenität besonders gut ausgeprägt ist bzw. sich besonders einfach detektieren läßt.

Anhand der Figuren 7 bis 9 wird, wieder für den Fall von 5 kapazitiven Sensoren, erläutert, wie die Empfindlichkeit eines Sensors unter Aufrechterhaltung einer hohen Grenzfrequenz der Ortsfrequenzfilterwirkung wesentlich gesteigert werden kann. In Fig. 7 besteht der kapazitive Sensor 20 aus mehreren Segmenten 21, 22, 23, 24, 10 von denen jedes die Apertur a hat. Die Sensor-Segmente 21, 22, 23, 24 sind unter Einfügung von Lücken 25, 26, 27 nach Art eines binären Codewortes angeordnet, das im Fall von Fig. 7 sieben Stellen hat und 1010011 lautet. Die von den einzelnen Sensor-Segmenten stammenden Signale werden summiert, 15 im einfachsten Fall dadurch daß die einander entsprechenden Elektroden der Sensor-Segmente einfach miteinander verbunden sind, wie in Fig. 7 angedeutet ist. Es ist jedoch auch möglich, die Elektroden mit getrennten Ansteuerschaltungen zu verbinden, deren Ausgangssignale dann summiert werden.

20 Die Codierung, nach der die Sensor-Segmente in Fig. 7 angeordnet sind, ist so gewählt, daß eine bestimmte Ortsfrequenzfilterwirkung erreicht wird. Aus dem Bereich der statistischen Nachrichtentechnik sind binäre Codes zur Datenübertragung bekannt, welche trotz einer großen gesamten Zeitdauer beim korrelativen Empfang ein zeitkomprimiertes Signal ergeben (Korrelations-Codes, Barker-Codes, binäre pseudozufällige Codes, m-Sequenzen u.ä.). Es sind außerdem binäre Codes bekannt, deren spektrale Eigenschaften bestimmten Gesetzmäßigkeiten gehorchen, beispielsweise so, daß das Spektrum des gesamten Codeworts eine große Ähnlichkeit mit dem Spektrum eines Einzelimpulses hat. Fig. 10 zeigt als typisches 25 30

Beispiel für solche Codes ein Codewort der Klasse der PN-Sequenzen (pseudozufälligen Codes) mit der Periode $N = 15$, und in Fig. 11 ist das Frequenzspektrum dieses Codeworts dargestellt. Die Einhüllende des Spektrums einer PN-Sequenz
5 ist gleich dem Verlauf der Spektraldichte eines Einzelimpulses, also die bekannte $\sin x/x$ -Funktion oder Spaltfunktion. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß daß Spektrum der PN-Sequenz aus N diskreten Spektrallinien besteht, wobei N die Periode der PN-Sequenz darstellt. Ins-
10 besondere für längere Perioden sind die Unterschiede zwischen diesem Spektrum und dem Spektrum des Einzelimpulses sehr klein.

Die räumliche Codierung der Sensor-Segmente von Fig. 7 entspricht einer solchen PN-Sequenz, die zur Verdeutlichung mit der Länge $N = 7$ sehr kurz gewählt ist. Demzufolge ist auch die Stoßantwort des vom Sensor 20 gebildeten Ortsfrequenzfilters eine solche PN-Sequenz als Funktion der Zeit (Fig. 8). Fig. 9 zeigt das Frequenzspektrum der Stoßantwort
20 von Fig. 8, also den Frequenzgang des durch die Sensoranordnung von Fig. 7 gebildeten Ortsfrequenzfilters. Das Spektrum besteht aus sieben diskreten Spektrallinien, deren Einhüllende gleich dem Verlauf der Filterkurve eines einzelnen Sensor-Segments ist, also mit der Ortsfrequenzfilterkurve von Fig. 6 übereinstimmt. Insbesondere ist die Grenzfrequenz dieses Ortsfrequenzfilters unabhängig von der räumlichen Ausdehnung, in der Bewegungsrichtung gesehen, und nur abhängig von der Länge des Apertur-Segments eines einzelnen Sensor-Segments.
25

30 Ein Vergleich der Figuren 4 und 7 läßt erkennen, daß die Sensoranordnung von Fig. 7 eine Gesamtlänge $A = N \cdot a$ hat, also um den Faktor N größer ist als die Länge a des Sensors von Fig. 4. Die Gesamt-Apertur der Sensoranordnung von Fig. 7
35 ist durch die Summe der Apertur-Segmente der vorhandenen Sensor-Segmente gebildet. Bei der zur Codierung gewählten PN-Sequenz sind $(N+1)/2$ Sensor-Segmente vorhanden. Demzufolge ist auch die Gesamt-Apertur und damit die Empfindlich-

keit der Sensoranordnung von Fig. 7 gegenüber derjenigen von Fig. 4 um den Faktor $(N+1)/2$ vergrößert, während die Grenzfrequenz unverändert ist. Die Gesamtkapazität der Sensoranordnung von Fig. 7 hat sich, ideale Verläufe der Feldlinien vorausgesetzt, ebenfalls um den Faktor $(N+1)/2$ vergrößert.
Dies ist insbesondere bei größeren Rohrquerschnitten von großem Vorteil, da in diesem Fall die Kapazität eines einzelnen ringförmigen Sensor-Segments sehr klein und daher schwierig auszuwerten wäre.

10

Ein weiterer Vorteil einer solchermaßen gestreckten und codierten Sensoranordnung, wie sie in Fig. 7 dargestellt ist, besteht darin, daß zu jedem Zeitpunkt eine große Anzahl Elementarereignisse erfaßt werden und damit der korrelativen Auswertung mehr Information pro Zeiteinheit zugeführt wird.
Dies führt zu größeren Werten für den Korrelationskoeffizient $\rho_{xy}(\tau_m)$.

Wie aus der vorstehenden Beschreibung hervorgeht, ist die Annäherung der Ortfrequenzfilterkurve (Fig. 9) der codierten Sensoranordnung (Fig. 7) an die Ortsfrequenzfilterkurve (Fig. 6) des Einzel-Sensors (Fig. 7) umso besser, je größer die Periode N der PN-Sequenz ist. Bei gleichen Abmessungen der einzelnen Sensor-Segmente bleibt die Einhüllende des Spektrums und damit auch die Grenzfrequenz unverändert, die Anzahl der Spektrallinien wird aber vergrößert. Ferner erhöht sich die Gesamt-Apertur und damit die Empfindlichkeit sowie im Fall von kapazitiven Sensoren die Gesamtkapazität. Allerdings wird auch die Länge A der Sensoranordnung in der zu erfassenden Bewegungsrichtung entsprechend größer. Dies kann zu räumlichen Problemen führen, wenn in einer korrelativen Meßanordnung, wie im Fall von Fig. 1, zwei codierte Sensoranordnungen im Abstand D angeordnet werden müssen. Der Sensorabstand D ist durch die Entfernung von Mitte zu Mitte jeder Sensoranordnung gegeben, so daß der minimale Abstand etwa der Gesamtlänge A einer Sensoranordnung entspricht.

Fig. 12 zeigt, wiederum für den Fall von kapazitiven Sensoren, zwei codierte Sensoranordnungen 40 und 50, die zum Zweck der korrelativen Geschwindigkeitsmessung entlang der Rohrleitung 1 angeordnet sind, wobei jedoch der Mittenabstand D der beiden Sensoranordnungen wesentlich kleiner als die Gesamtlänge A1 bzw. A2 jeder der beiden Sensoranordnungen ist. Dies ist dadurch erreicht, daß die beiden codierten Sensoranordnungen "verschachtelt" sind. Damit dies möglich ist, müssen für die beiden Sensoranordnungen Codewörter ausgewählt werden, welche eine solche teilweise Verschachtelung zulassen, also Codewörter, bei denen eine gewisse Anzahl von Codelücken am Ende der ersten Sensoranordnung mit einer gewissen Anzahl von Codestegen am Anfang der zweiten Sensoranordnung (in der Bewegungsrichtung gesehen) übereinstimmen. Der Begriff "Codelücke" wird hierbei für die logische Null, der Begriff "Codesteg" für die logische Eins verwendet.

Die Sensoranordnung 40 von Fig. 12 enthält Sensor-Segmente 41, 42, 43, 44, die gemäß dem Codewort 1010011 angeordnet sind. Die Sensoranordnung 50 enthält Sensor-Elemente 51, 52, 53, 54, die gemäß dem Codewort 1001011 angeordnet sind. In beiden Fällen handelt es sich also um PN-Sequenzen mit der Periode $N = 7$. Die beiden letzten Sensor-Segmente 43 und 44 der Sensoranordnung 40 liegen in den beiden Codelücken zwischen den ersten Sensor-Segmenten 51, 52 der Sensoranordnung 50.

Insbesondere bei nicht-rotationssymmetrischen Strömungsprofilen kann es erwünscht sein, den Prozeß von mehr als einer Richtung zu beobachten, um zufällige Signale aus allen Richtungen ableiten zu können. Dies ist mit den zuvor beschriebenen codierten Sensoranordnungen infolge der Unterteilung in Sensorsegmente und der räumlichen Ausdehnung auf besonders einfache Weise möglich, indem die aufeinanderfolgenden Sensor-Segmente mit einer gegenseitigen Winkelversetzung angeordnet,

also gewissermaßen um den bewegten Prozeß "herumgewickelt" werden. Fig. 13 zeigt diese Maßnahme für den Fall einer kapazitiven Sensoranordnung 60 mit vier entlang der Rohrleitung 1 angeordneten Sensor-Segmenten 61, 62, 63, 64.

- 5 Die beiden Elektroden aller Sensor-Segmente haben die gleiche, nahezu halbzylindrische Form, doch sind die diametralen Trennebenen zwischen den beiden Elektroden gegeneinander winkelversetzt. Auf diese Weise können aus dem bewegten Prozeß von vielen Seiten aus zufällige Signale abgeleitet
- 10 werden. Dadurch ist es möglich, insbesondere im Einlaufgebiet einer Rohrströmung, Profileinflüsse durch die Anordnung der Elektroden zu vermindern oder sogar ganz auszuschalten.
- 15 Die Anwendung der zuvor für kapazitive Sensoranordnungen beschriebenen Maßnahmen auf andere Sensoren, wie Ultraschallsensoren, optische Sensoren, thermische Sensoren, ladungsempfindliche Sensoren, Leitfähigkeitssensoren usw., ist für den Fachmann aus der vorstehenden Beschreibung ohne weiteres
- 20 ersichtlich. Unter der Apertur des Sensors ist dabei jeweils die auf den sich bewegenden Prozeß gerichtete Empfindlichkeitsfläche zu verstehen. Bei optischen Sensoren ist dies der Strahlengang, bei Ultraschallsensoren die abtastende Schallkeule usw. Jedem Sensor-Segment entspricht ein Apertur-
- 25 Segment, und die Gesamt-Apertur der Sensoranordnung ergibt sich aus der Summe der Apertur-Segmente.

1. Sensor zur Detektion zufälliger, zur korrelativen Signalverarbeitung geeigneter Signale aus einem relativ zum Sensor bewegten Prozeß, insbesondere für die korrelative Geschwindigkeits- oder Laufzeitmessung, mit einer für eine Kenngröße des bewegten Prozesses empfindlichen Gesamt-Apertur, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamt-Apertur in Apertursegmente unterteilt ist, die unter Einfügung von für die Kenngröße des bewegten Prozesses unempfindlichen Lücken nach einer in Abhängigkeit von der gewünschten Ortsfrequenzfilterwirkung gewählten Codierung in der Bewegungsrichtung angeordnet sind.
5
2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertursegmente gegeneinander winkelversetzt um den zu erfassenden Prozeß herum angeordnet sind.
15
3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertursegmente durch entsprechend unterteilte Elektroden eines kapazitiven Sensors gebildet sind.
20
4. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertursegmente durch die entsprechend aufgeteilten Sende-/Empfangsschwinger eines Ultraschall-Sensors gebildet sind.
25
5. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertursegmente durch die entsprechend aufgeteilten Sende-/Empfangsflächen eines optischen Sensorsystems gebildet sind.
30

6. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertursegmente durch die entsprechend aufgeteilten Fühlbereiche eines thermischen Sensorsystems gebildet sind.

5

7. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertursegmente durch die entsprechend aufgeteilten Elektroden eines Leitfähigkeitsfühlers gebildet sind.

10

8. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Apertursegmente durch die entsprechend aufgeteilten Elektroden eines Ladungssensors gebildet sind.

15

9. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung einer binären PN-Sequenz entspricht.

20

10. Korrelative Meßanordnung mit zwei Sensoren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die entlang der Bewegungsrichtung des Prozesses mit einem gegenseitigen Mittenabstand angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die einander zugewandten Endabschnitte der Sensoren derart verschachtelt sind, daß jeweils die wirksamen Apertursegmente eines Sensors in den Codelücken des anderen Sensors liegen.

25

0108876

1/4

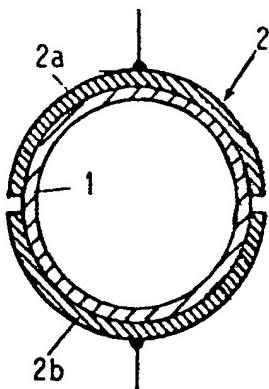
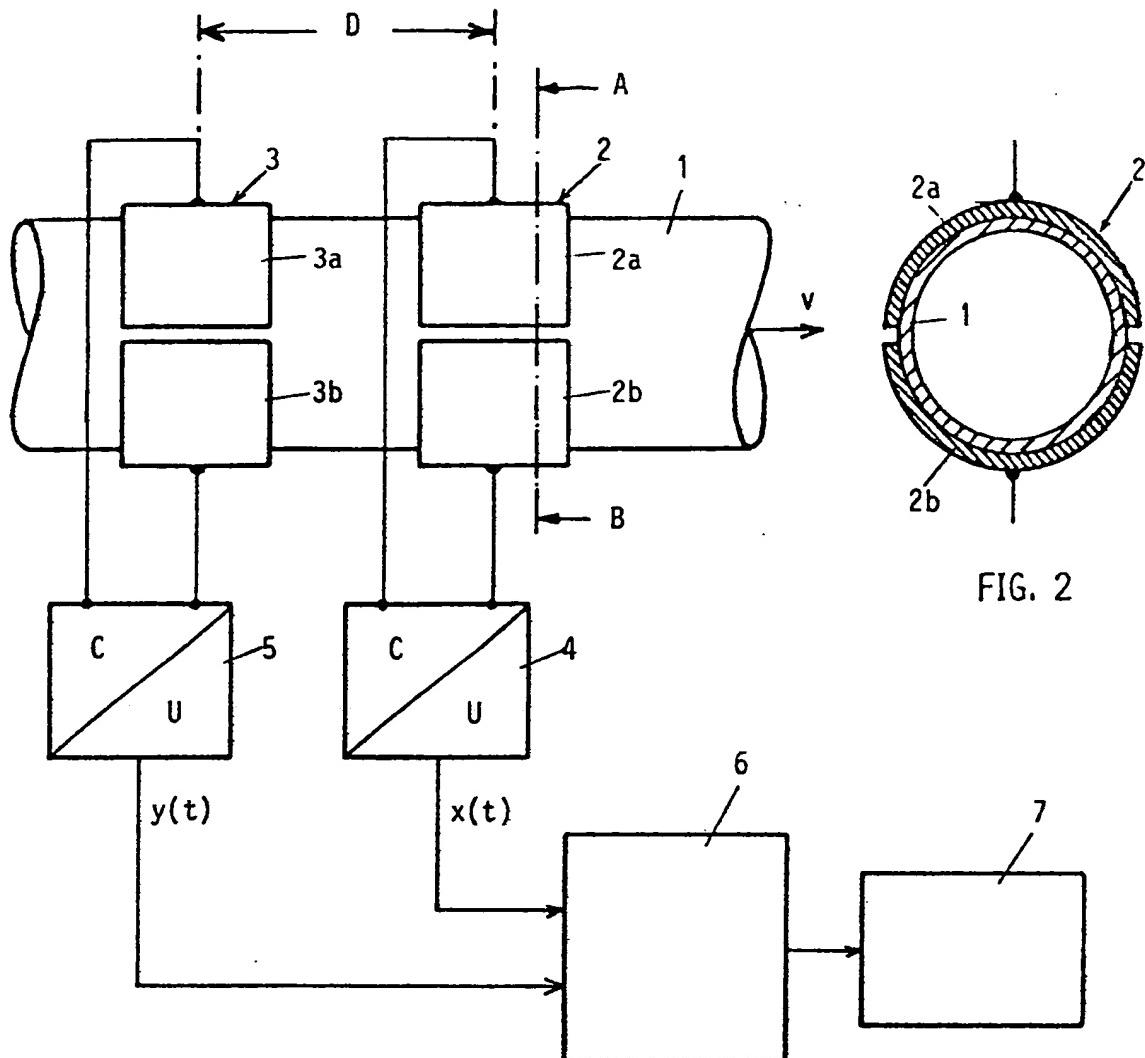
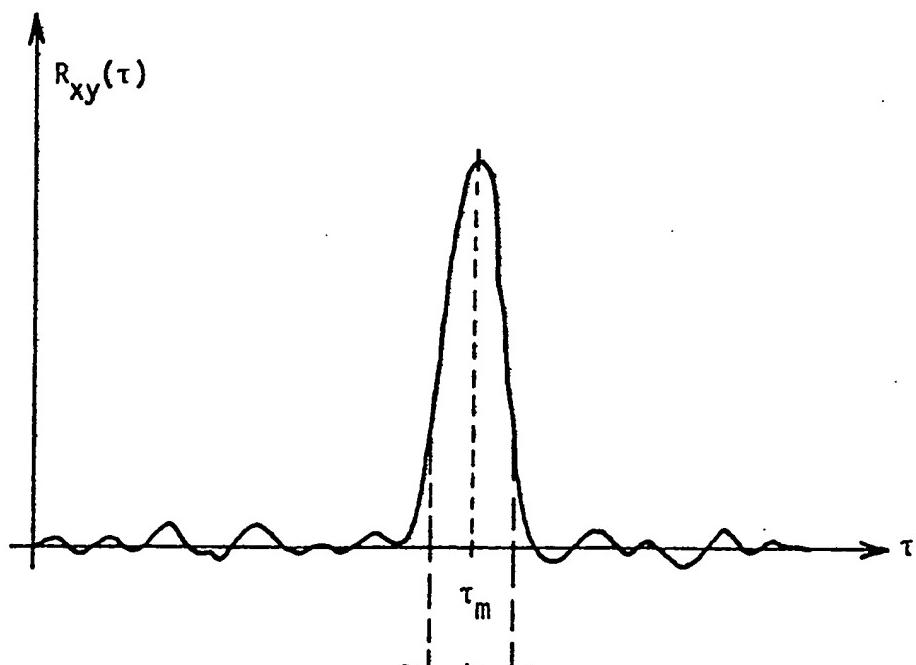


FIG. 2



0108876

2/4

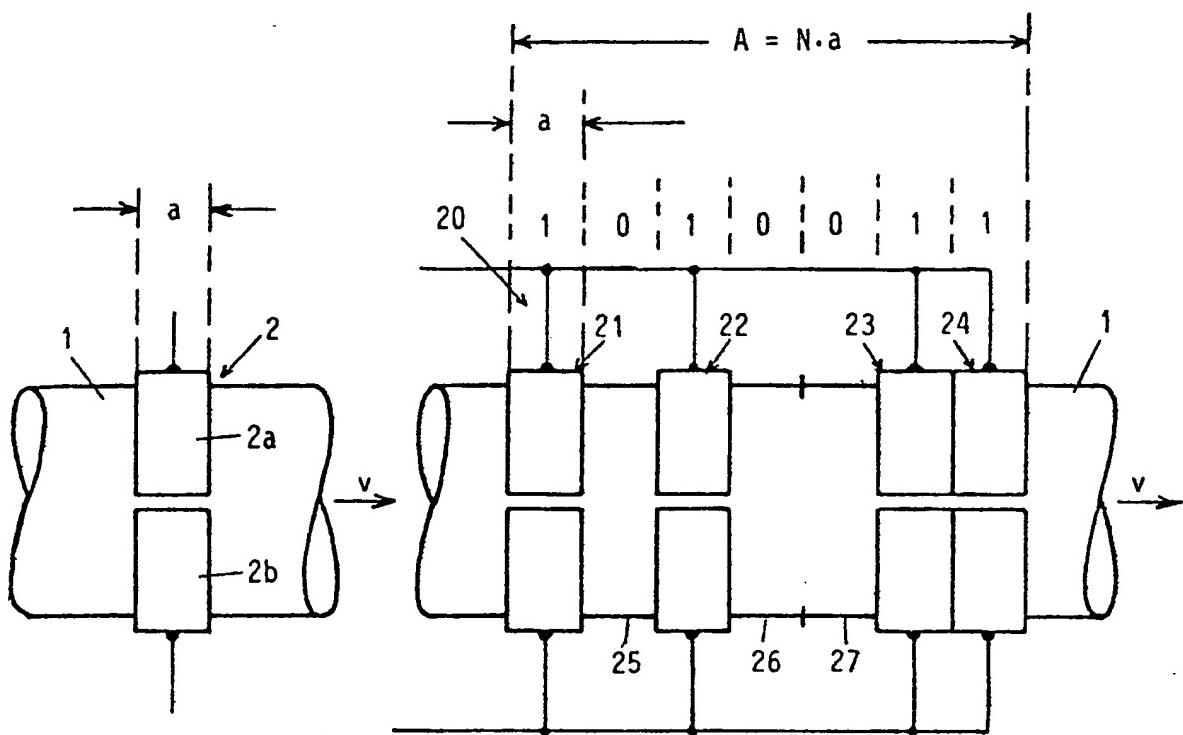


FIG. 4

FIG. 7

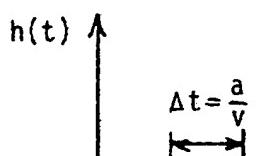


FIG. 5

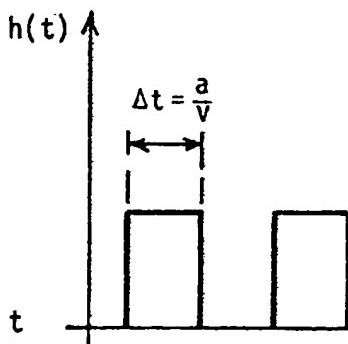


FIG. 8

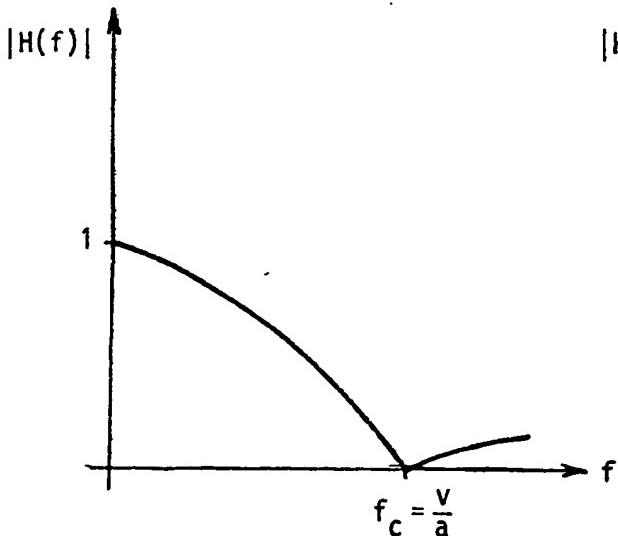


FIG. 6

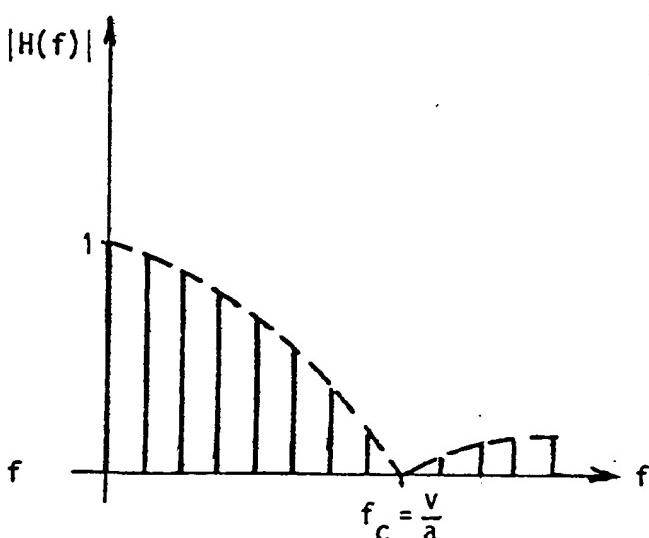


FIG. 7

0108876

3/4

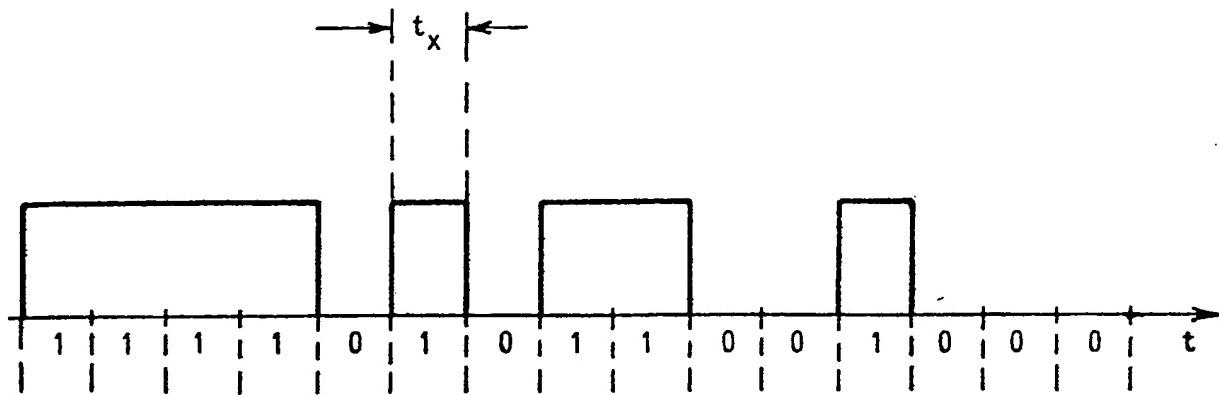


FIG. 10

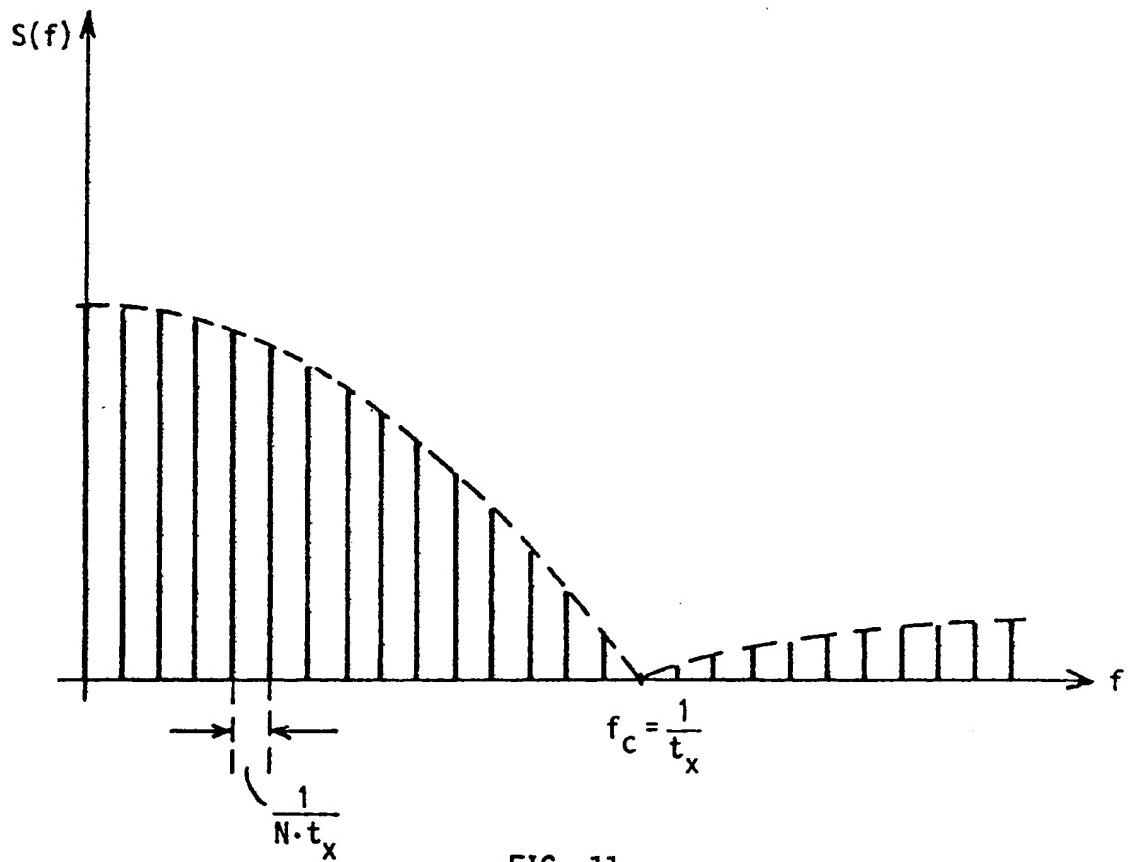


FIG. 11

0108876

4/4

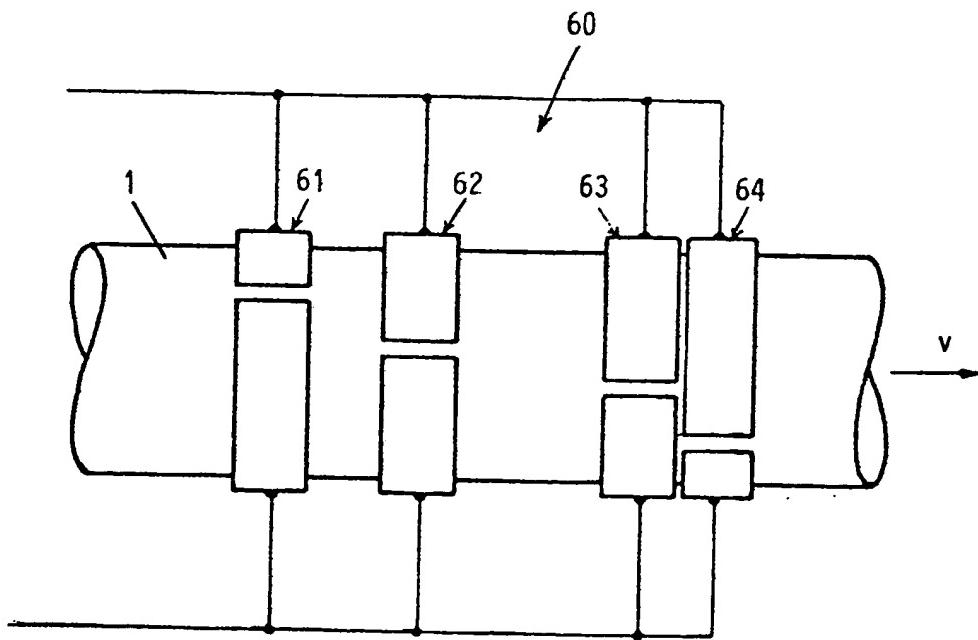
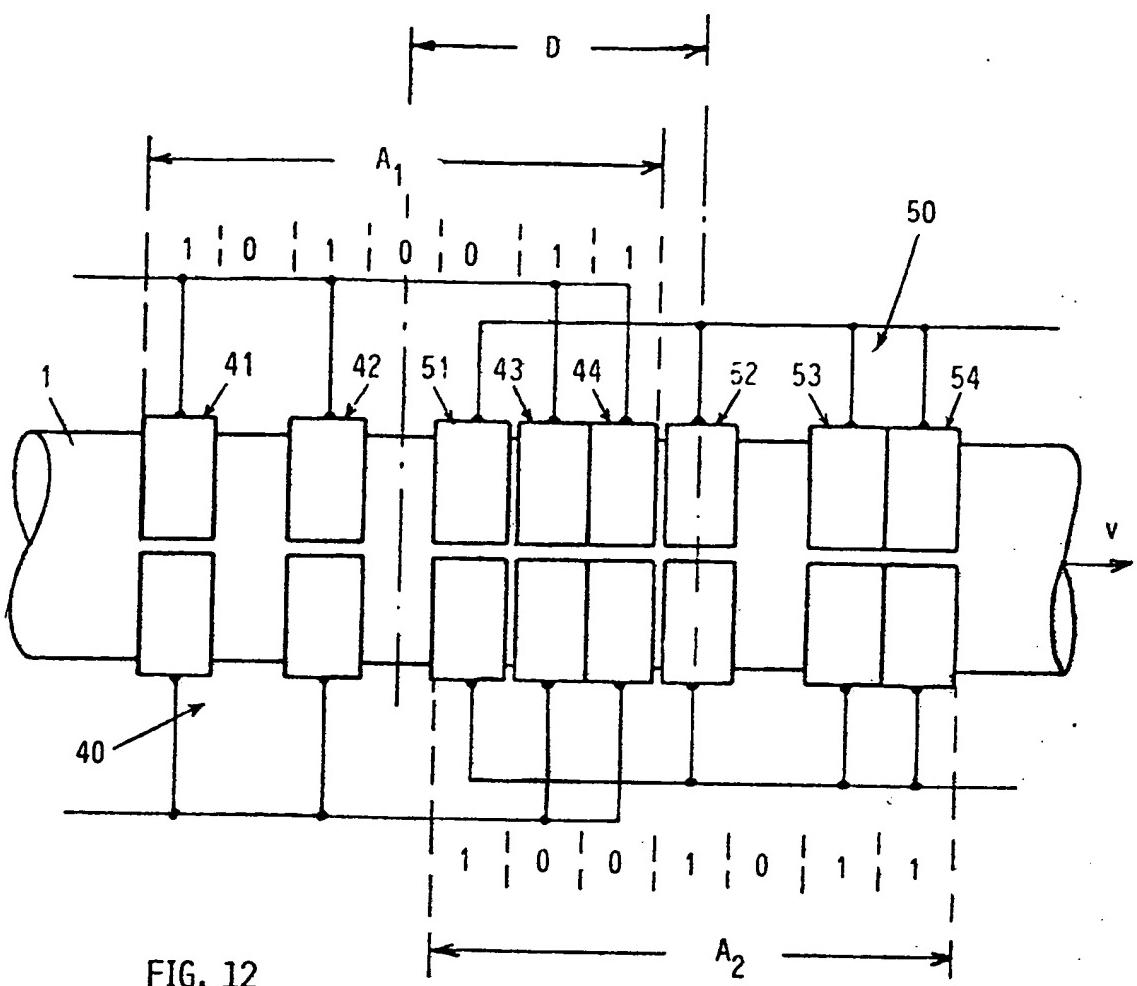


FIG. 13



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. *)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	
A	DE-A-2 544 825 (LICENTIA) * Seite 5, Zeilen 1-22; Seite 7, Zeilen 10-11; Figuren 1,3 *	1,4,5, 10	G 01 P 5/18
A	--- DE-A-2 532 033 (HOCK) * Seite 7, Zeile 5 - Seite 8, Zeile 2 *	1,5	
A	--- DE-A-2 553 321 (LICENTIA) * Seite 4, Zeilen 1-4; Seite 7, Zeilen 2-18; Seite 7, Zeile 21 - Seite 8, Zeile 3; Figur 1 *	1,3-6	
A	--- FR-A-2 365 801 (BOSCH) * Seite 1, Zeile 39 - Seite 2, Zeile 13; Figuren *	1,10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. *)
A	--- DE-A-2 532 060 (HOCK) * Seite 1, Zeile 15 - Seite 2, Zeile 3; Seite 5, Zeilen 5-9 *	1,2,8	G 01 P G 01 F

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG	Abschlußdatum der Recherche 03-01-1984	Prüfer HANSEN P.	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	